

УДК 621.914

Э.Р. Ваниев, Симферополь, Украина

ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ НА СТОЙКОСТЬ ИНСТРУМЕНТА ПРИ ФРЕЗЕРОВАНИИ СТАЛИ 12Х18Н10Т В ПРИСУТСТВИИ РАЗЛИЧНЫХ СОТС

У статті наведені результати моделювання стійкості інструменту від режимних параметрів прироблення, а також режимів різання приробленого інструменту і дослідження їх впливу на стійкість зубів фрез з Р6М5 при фрезеруванні сталі 12Х18Н10Т окремо для кожної з використовуваних технологічних середовищ (суха обробка, ріцинова і рапсова олії, МР-99, І-20А). Показана перевага використання рослинних олій при фрезеруванні сталі аустенітного класу швидкохідним інструментом.

В статье приведены результаты моделирования стойкости инструмента от режимных параметров приработки, а также режимов резания приработанного инструмента и исследование их влияния на стойкость зубьев фрез из Р6М5 при фрезеровании стали 12Х18Н10Т отдельно для каждой из используемых технологических сред (сухая обработка, касторовое и рапсовое масла, МР-99, І-20А). Показано преимущество использования растительных масел при фрезеровании стали аустенитного класса быстрорежущим инструментом.

The paper presents the results of the simulation tool life of the running operating parameters, as well as the cutting tool run-in and study of their effects on resistance of teeth cutters for milling steel HS 6-5-2 X12CrNiTi18-10 separately for each of the used technological environments (dry processing, castor and canola oils, MR-99, І-20А). The advantage of the use of vegetable oils for milling austenitic steel HSS tool.

Постановка задачи и цель исследований. Фрезерование представляет собой разновидность механической обработки, функционирование которой, как системы, зависит от множества факторов (переменных), обуславливающих как протекание процесса резания в виде физико-химических явлений его сопровождающих, так и его выходные характеристики – производительность и себестоимость обработки, стойкость инструмента, показатели качества поверхности и др. [1-4].

Рассмотрение системы механической обработки и особенностей процесса резания, как совокупность взаимосвязанных явлений, возникающих при образовании структуры, позволяет утверждать, что использование СОТС оказывает существенное влияние на их интенсивность и тем самым влияет на стойкость инструмента.

В современной теории резания процесс стружкообразования рассматривается как термомеханический процесс [2, 5, 6], определяемый множеством взаимосвязанных первичных параметров механической

обработки. Учитывая это влияние СОТС на механизм процесса резания без взаимосвязи с другими факторами, не может быть установлен в такой мере. Однако влияние СОТС на параметры процесса резания во взаимосвязи с другими факторами, определяющими, систему механической обработки практически не исследовано.

Исходя из термомеханического подхода в теории резания контактные нагрузки, действующие на инструмент, и температура резания для пары обрабатываемый материал-инструмент, прежде всего, определяются режимами резания и технологической средой (СОТС), в присутствии которой происходит обработка. Поэтому исследование влияние режимов резания в некотором диапазоне их изменения и различных СОТС на стойкость инструмента при фрезеровании стали 12X18H10T является актуальной задачей и имеет большое практическое значение при разработке рекомендаций по использованию СОТС в различных условиях эксплуатации.

Целью исследований является установление влияние режимов резания на стойкость быстрорежущих фрез при использовании различных СОТС с использованием технологии минимальной смазки (ТМС) для разработки рекомендаций по рациональному использованию технологических сред при обработке стали 12X18H10T.

Анализ последних исследований и публикаций. Известно, что в процессе резания наблюдается три вида износа: приработочный, нормальный и катастрофический. Исследованиями [7] установлено, что приработка инструмента на более низких режимах резания приводит к значительному повышению стойкости инструмента в сравнении с дальнейшей его эксплуатации на более высоких режимах резания. Это объясняется тем, что в процессе приработки на контактных поверхностях инструмента наблюдается пластическая деформация контактных (локальных) микрообъемов, впоследствии которой происходит их упрочнение (включая образование химических соединений).

В работе [8] показано, что упрочнение инструмента резанием зависит от среды, в которой осуществляется приработка. По результатам, приведенным в этой работе можно предположить, что при обработке сталей аустенитного класса, к которым относится и сталь 12X18H10T, одним из перспективных направлений повышения работоспособности инструмента является применение СОТС на основе растительных масел с использованием технологии минимальной смазки. Однако приведенные исследования проводились только при точении. Поэтому они в полной мере не могут быть отнесены к фрезерованию. Кроме того вопрос эффективного использования различных СОТС во взаимосвязи с другими факторами, определяющим процесс резания в этих исследованиях не рассматривался.

В работе [9] впервые на основе математического моделирования с использованием одного из методов самоорганизации – группового учета аргументов в результате обработки экспериментальных данных была получена модель в виде зависимости стойкости фрезы от режимов резания и обобщенной характеристики той или иной СОТС. В качестве обобщенной характеристики СОТС была выбрана адгезионная составляющая (μ_a) коэффициента трения пары 12X18H10T – P6M5.

Предполагалось получить модель в виде функции $T = f(V_{пр}, S_z, V_c, t, \mu_a)$, где скорость приработки изменялась в диапазоне $V_{пр} = (12,2 \div 27,9)$ м/мин, а скорость фрезерования после приработки при постановке экспериментов изменялась в диапазоне $V_c = (27,4 \div 49,6)$ м/мин.

Значения остальных переменных в каждом эксперименте были одинаковыми, как на стадии приработки, так и при работе инструмента после приработки и изменялись в пределах $S_z = (0,1 \div 0,3)$ мм/зуб, $t = (0,4 \div 2)$ мм и $\mu_a = (0,13 \div 0,31)$, соответственно для смазки МР-99 – $\mu_a = 0,13$, для рапсового масла – $\mu_a = 0,2$, для касторового масла – $\mu_a = 0,26$ и для И-20А – $\mu_a = 0,31$.

Таким образом, по аналогии согласно работе [8] отличие режима приработки инструмента от режима его работы после приработки определялось только скоростью приработки.

В результате получена модель, которая с точностью 15% описывает зависимость исследуемых переменных следующего вида:

$$\begin{aligned} \ln T = & 8,913 - 3,899 \cdot \ln V_c \cdot S_z + 3,88 \cdot 10^{-1} \cdot \ln V_c \cdot \ln S_z - \\ & - 1,578 \cdot S_z \cdot \ln \mu_a \cdot \ln V_c + 3,316 \cdot 10^{-4} \cdot V_c \cdot \mu_a \cdot (\ln V_c)^2 \cdot (\ln S_z)^2 - \\ & - 3,528 \cdot 10^{-3} \cdot V_c \cdot t \cdot S_z^2 \cdot \ln \mu_a \cdot \ln V_c \end{aligned} \quad (1)$$

Влияние исследуемых переменных на стойкость осуществляется в тесной взаимосвязи друг с другом. В данных моделях влияние скорости приработки на стойкость исследуемого инструмента не выявлено.

Это может быть объяснено тем, что коэффициент адгезионной составляющей μ_a коэффициента трения не может служить характеристикой СОТС несущей информации об эффектах каждой из них, как это было предложено в работе [10]. Поэтому не представляется возможным синтезировать одну модель, по которой можно было определять стойкость фрез в зависимости от вида различных СОТС.

Таким образом возникает задача построения моделей в виде зависимостей $T = f(V_{пр}, S_z, V_c, t)$ при использовании отдельно каждой из СОТС.

Моделирование стойкости инструмента с использованием различных сред. Синтез зависимостей $T = f(V_{пр}, S_z, V_c, t)$ осуществлялся по

методике предложенной в работе [9] и в тех же пределах исследуемых переменных (V_{np} , S_z , V_c и t). В результате обработки экспериментальных данных получены следующие модели, адекватность описывающие процесс:

– МР-99 (относительная точность – 6%)

$$\ln T = 5,16 - 1,2 \cdot t \cdot S_z - 1,28 \cdot 10^{-1} \cdot S_z \cdot V_c + 1,165 \cdot 10^{-4} \cdot \ln V_c \cdot V_c^2 \cdot S_z + 1,215 \cdot 10^{-1} \cdot \ln t \cdot t - 2,5 \cdot 10^{-5} \cdot V_{np} \cdot S_z^3 \cdot t \cdot \ln V_c \cdot V_c^2 \quad (2)$$

– рапсовое масло (относительная точность – 8%)

$$\ln T = 5,33 + 2,03 \cdot 10^{-2} \cdot S_z \cdot V_c + 5,47 \cdot 10^{-3} \cdot \ln S_z \cdot \ln V_{np} \cdot S_z^2 \cdot V_c^2 + 1,8 \cdot 10^{-5} \cdot \ln t \cdot V_{np} \cdot \ln S_z \cdot \ln V_{np} \cdot S_z^2 \cdot V_c^2 \quad (3)$$

– касторовое масло (относительная точность – 8%)

$$\ln T = 6,38 - 4,94 \cdot 10^{-1} \cdot S_z \cdot V_{np} - 6,88 \cdot 10^{-2} \cdot \ln t \cdot V_{np} - 1,1 \cdot 10^{-2} \cdot \ln V_c \cdot V_c + 8,67 \cdot 10^{-4} \cdot V_c \cdot t \cdot S_z^2 \cdot V_{np}^2 + 1,29 \cdot 10^{-5} \cdot t \cdot V_c^2 \cdot \ln V_c \cdot S_z \cdot V_{np} \quad (4)$$

– И-20А (относительная точность – 10%)

$$\ln T = 4,11 - 1,04 \cdot 10^{-3} \cdot V_{np} \cdot V_c + 2,99 \cdot 10^{-1} \cdot (\ln S_z)^2 - 1,03 \cdot 10^{-1} \cdot \ln V_c \cdot S_z \cdot (\ln S_z)^2 \quad (5)$$

– всухую (относительная точность – 7%)

$$\ln T = 4,598 - 2,21 \cdot 10^{+1} \cdot S_z^2 - 3,83 \cdot 10^{-1} \cdot t \cdot \ln t - 1,96 \cdot 10^{-3} \cdot V_{np}^2 \cdot S_z^2 - 4,65 \cdot 10^{-2} \cdot \ln V_c \cdot (\ln t)^3 \cdot t - 3,23 \cdot S_z^3 \cdot t^3 \cdot \ln V_c \cdot (\ln t)^3 \quad (6)$$

Анализ структур полученных моделей показывает, что режимные параметры оказывают влияние на стойкость во взаимосвязи друг с другом. Следует отметить, что в присутствии индустриального масла И-20А, в выбранных пределах изменения глубина резания на стойкость инструмента при фрезеровании стали 12Х18Н10Т не оказывает влияния.

Количественную оценку каждого из факторов для каждой из исследуемых СОТС можно определить при исследовании зависимостей:

$T = f(S_z)$, $T = f(V_{np})$, $T = f(V_c)$ и $T = f(t)$.

Влияние исследуемых переменных на стойкость инструмента. Исследование каждой из рассматриваемых переменных проводилось по графическим зависимостям стойкости от каждой из переменных, полученных соответственно по моделям (2, 3, 4, 5 и 6). Выбор значений режимных

параметров для построения стойкостных зависимостей от них продиктованы рекомендациями приработки при точении стали 12Х18Н10Т [8].

Так, на рис. 1 представлены зависимости $T = f(S_z)$ стойкости инструмента от подачи на зуб для различных СОТС. Анализ этих зависимостей показывает, что наибольшее влияние на стойкость оказывает подача на зуб (S_z) в присутствии касторового масла (графики 4). При том интенсивность ее влияния на стойкость в большей степени проявляется при скорости приработки $V_{пр} = 28$ м/мин.

При приработке со скоростью $V_{пр} = 28$ м/мин, подачей $S_z = 0,1$ мм/зуб стойкость фрезы достигает 347 мин, т.е. более чем в 2,4 раз выше стойкости фрезы при сухой обработке на тех же режимах.

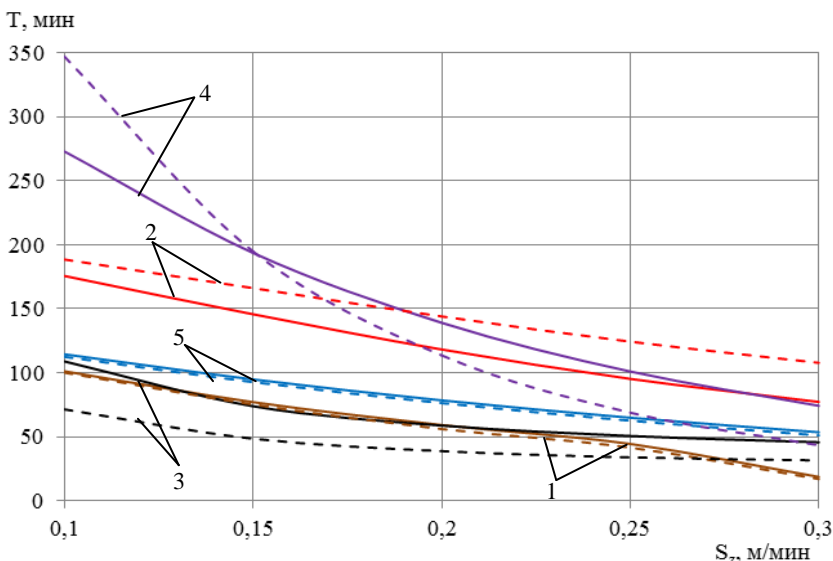


Рисунок 1 – Зависимости $T = f(S_z)$ при фрезеровании стали 12Х18Н10Т:
 — $V_{пр} = 15,5$ м/мин; - - - $V_{пр} = 28$ м/мин; $V_c = 28$ м/мин; $t = 0,4$ мм;
 1 – сухая обработка, 2 – рапсовое масло (ТМС), 3 – И-20А (ТМС),
 4 – касторовое масло (ТМС), 5 – МР-99 (ТМС)

Стойкость фрезы при $V_{пр} = 15,5$ м/мин равна 272 мин, т.е. на 2% ниже, чем при исследуемой максимальной скорости приработки. При подаче $S_z = 0,3$ мм/зуб как при $V_{пр} = 15,5$ м/мин, так и при $V_{пр} = 28$ м/мин стойкость фрез в присутствии касторового масла в 2,5 раза выше стойкости сухой обработки на этих же режимах (при сухой обработке $T = 16,8$ мин, касторовое масло $T = 43,2$ мин).

Использование рапсового масла при $S_z = 0,15$ мм/зуб, $V_{пр} = 15,5$ м/мин и при $V_{пр} = 28$ м/мин соответственно повысило стойкость фрез в 1,9 и 2,2 раза в сравнении с сухой обработкой.

С увеличением S_z эффективность использования касторового и рапсового масел в сравнении с сухой обработкой повышается. Так в присутствии касторового масла при скоростях приработки $V_{пр} = 15,5$ м/мин и $V_{пр} = 28$ м/мин стойкость инструмента соответственно в 4,1 и 2,5 раза выше стойкости при сухой обработке. При использовании рапсового масла при тех же значениях подачи на зуб и скоростей приработки стойкость соответственно выше по сравнению с сухой обработкой в 4 и 6 раз.

Проведенный анализ и анализ графических зависимостей показывают, что при $V_{пр} = 15,5$ м/мин в диапазоне S_z от 0,1 мм/зуб до 0,2 мм/зуб лучше результаты по стойкости инструмента наблюдается при использовании касторового масла. При приработке зубьев фрез в $V_{пр} = 28$ м/мин наблюдается повышение их стойкости при использовании касторового масла до $S_z = 0,15$ мм/зуб.

На рис. 2 приведены графические зависимости $T = f(V_{пр})$ стойкости инструмента от скорости приработки.

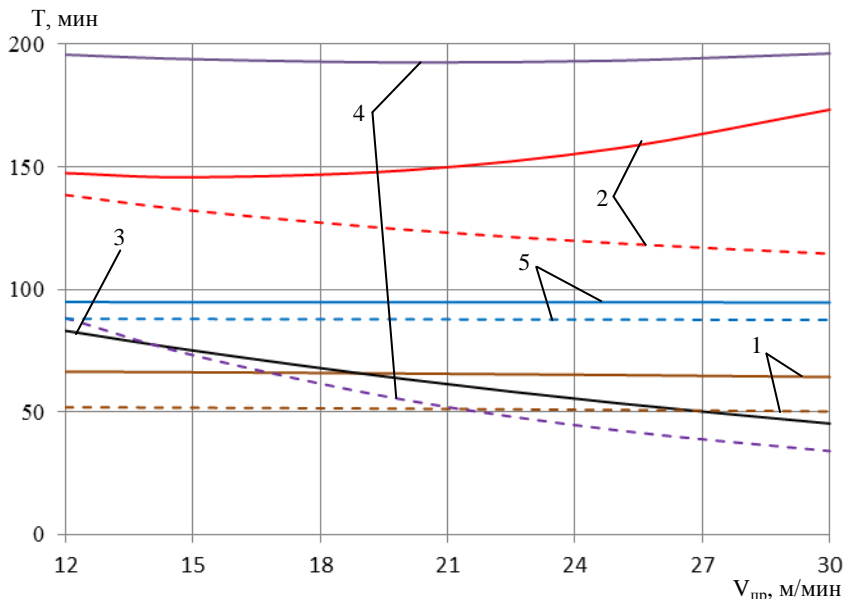


Рисунок 2 – Зависимости $T = f(V_{пр})$ при фрезеровании стали 12Х18Н10Т:

— $t = 0,4$ мм; --- $t = 1,2$ мм; $V_c = 28$ м/мин; $S_z = 0,15$ мм/зуб;
 1 – сухая обработка, 2 – рапсовое масло (ТМС), 3 – И-20А (ТМС),
 4 – касторовое масло (ТМС), 5 – МР-99 (ТМС)

Их анализ показывает, что во всем диапазоне принятого в исследованиях изменения скорости приработки и одних и тех же значениях подачи на зуб ($S_z = 0,15$ мм/зуб) и скорости фрезерования после приработки ($V_c = 28$ м/мин), при малых глубинах резания ($t = 0,4$ мм) скорость приработки в присутствии касторового масла не оказывает влияния на стойкость зубьев фрез.

В тоже время при глубине фрезерования $t = 1,2$ мм с повышением скорости приработки снижается стойкость инструмента. Так, в исследуемом диапазоне скоростей приработки с ее увеличением наблюдается снижение стойкости на 2,2 раза. Это позволяет утверждать, что приработка в присутствии касторового масла должна осуществляться при малых глубинах резания не зависимо от скорости приработки $V_{пр}$.

При использовании рапсового масла наблюдается небольшое влияние скорости приработки на стойкость инструмента в сравнении с касторовым маслом. При глубине резания $t = 0,4$ мм увеличение скорости приработки в рассматриваемом ее диапазоне изменения вызывает увеличение стойкости на 18%.

В тоже время при глубине резания $t = 1,2$ мм – снижение стойкости на 17%. Проведенный анализ показывает, что приработку при фрезеровании в присутствии рапсового масла следует проводить при малых глубинах резания. При сухой обработке и при фрезеровании в присутствии МР-99 скорость приработки в исследуемом диапазоне ее изменения практически не оказывает влияния на стойкость зубьев фрез. С увеличением скорости приработки при фрезеровании с использованием И-20А стойкость зубьев фрезы снижается на 1,8 раза.

Нас рис. 3 приведены графические зависимости $T = f(V_c)$ стойкости зубьев фрез от скорости фрезерования приработанных на скоростях приработки $V_{пр} = 15,5$ м/мин и $V_{пр} = 28$ м/мин.

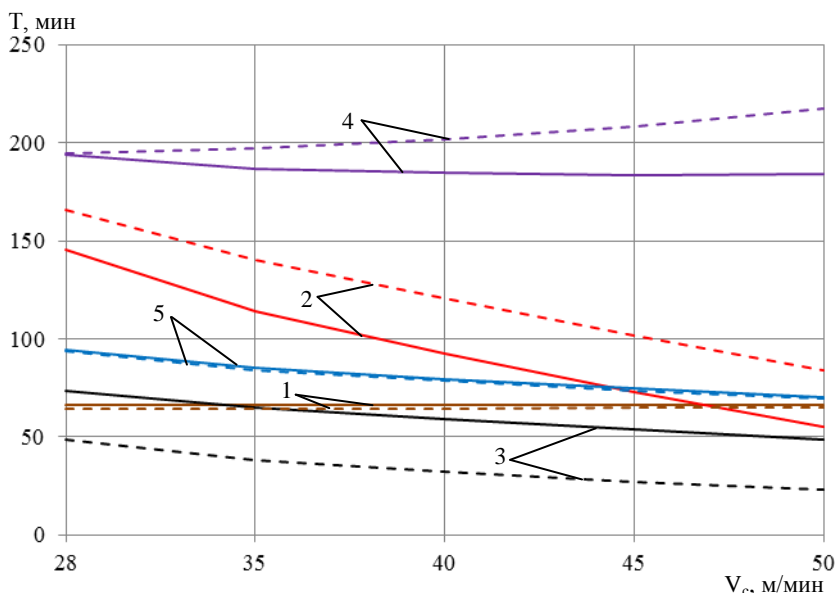
Их анализ показывает, что наибольшее влияние на стойкость оказывает скорость фрезерования в присутствии рапсового масла. С увеличением скорости фрезерования V_c в пределах от 28 м/мин до 50 м/мин стойкость снижается для $V_{пр} = 15,5$ м/мин в 2,6 раза, для $V_{пр} = 28$ м/мин в 1,9 раза. При использовании касторового масла при принятых режимных параметрах приработки и дальнейшей эксплуатации фрез увеличение скорости резания V_c оказывает меньше влияния в сравнении с использованием рапсового масла (графики 2 и 4).

Такое влияние скорости фрезерования на стойкость может объясняться состоянием контактных слоев, образуемых во время приработки и дальнейшей эксплуатации инструмента.

Увеличение скорости V_c в рассматриваемом диапазоне ее изменения уменьшает стойкость фрез в присутствии МР-99 менее, чем на 10%, не

зависимо от значения скорости приработки, и в присутствии И-20А на $35 \div 50$ в зависимости от скорости приработки. При сухой обработке скорость фрезерования при $S_z = 0,15$ мм/зуб и $t = 0,4$ мм не зависит от $V_{пр}$ не оказывает влияния на изменение стойкости инструмента.

Анализ графических зависимостей $T = f(t)$ стойкости зубьев фрез от глубины резания (рис. 4) показывает, что при фрезеровании с подачей $S_z = 0,15$ мм/зуб и $V_c = 28$ м/мин наибольшее влияние глубины резания на стойкость инструмента наблюдается в присутствии касторового масла.



Так, при $V_{пр} = 15,5$ м/мин при увеличении глубины резания до $t = 1,2$ мм наблюдается интенсивное уменьшение стойкости (2,7 раза). При дальнейшем увеличении глубины резания до $t = 2,0$ мм интенсивно уменьшается стойкость инструмента до 1,4 раза. При $V_{пр} = 28$ м/мин интенсивное снижение стойкости (6 раз) наблюдается при увеличении глубины резания до $t = 1,2$ мм. Дальнейшее увеличение глубины резания до $t = 2,0$ мм уменьшает стойкость зубьев фрез на 1,5 раза.

Сопоставляя результаты исследований влияния режимных параметров приработки и дальнейшей эксплуатации фрез после приработки на стойкость инструмента в присутствии касторового масла (рис. 1, 2, 3, 4) показывают, что с уменьшением подачи S_z , глубины резания стойкость инструмента резко увеличивается, что позволяет рекомендовать наиболее эффективное использование касторового масла при фрезеровании стали 12X18H10T в условиях чистовой обработки.

Влияние глубины резания на стойкость инструмента в присутствии рапсового масла значительно меньше, чем при использовании касторового масла. При $V_{пр} = 15,5$ м/мин некоторое снижение наблюдается при увеличении глубины резания до $t = 0,8$ мм. При $V_{пр} = 28$ м/мин уменьшение стойкости инструмента при увеличении глубины до $t = 1,2$ мм в 1,4 раза. Дальнейшее повышение глубины резания не влияет на изменение стойкости.

Таким образом, анализируя результаты зависимостей стойкости от режимных параметров процесса приработки инструмента и его работы после приработки фрезерование при использовании рапсового масла более эффективно применять в условиях полустистового резания.

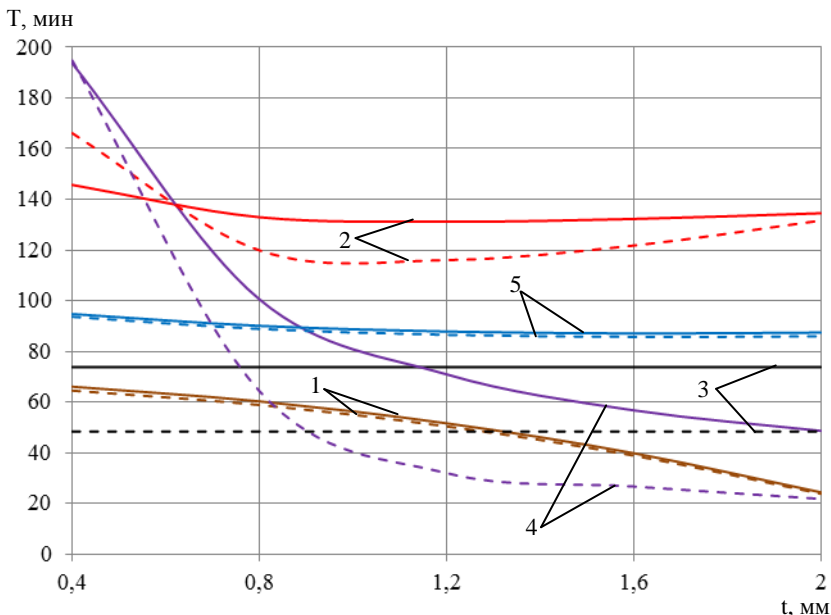


Рисунок 4 – Зависимости $T = f(t)$ при фрезеровании стали 12X18H10T:
 — $V_{пр} = 15,5$ м/мин; - - - $V_{пр} = 28$ м/мин; $V_c = 28$ м/мин; $S_z = 0,15$ мм/зуб;
 1 – сухая обработка, 2 – рапсовое масло (ТМС), 3 – И-20А (ТМС),
 4 – касторовое масло (ТМС), 5 – МР-99 (ТМС)

Изменение глубины резания от 0,4 мм до 2,0 мм при сухом резании не зависимо от значений скорости приработки, уменьшает стойкость зубьев фрез в 2,7 раза.

Проведенный анализ влияния режимов приработки и режимов фрезерования приработанного инструмента позволяет сделать следующие выводы.

Выводы. Проведенный анализ влияния на стойкость инструмента режимов приработки и режимов фрезерования приработанным инструментом в присутствии различных технологических сред показал, что использование растительных масел (касторового и рапсового) значительно повышает стойкость зубьев фрез в сравнении с сухой обработкой и с использованием таких СОТС как МР-99 и И-20А.

Показано, что для чистовой обработки наиболее эффективно применить в качестве СОТС с использованием технологии минимальной смазки касторовое масло. При фрезеровании с глубинами резания более $0,5 \div 0,8$ мм целесообразно применять рапсовое масло.

Установлено, что наибольшее влияние на стойкость инструмента в принятом диапазоне изменения режимов резания оказывают подача на зуб и глубина резания для растительных масел, используемых в качестве СОТС, а при сухой обработке и при использовании СОТС МР-99 и И-20А – подача на зуб.

Список использованных источников: 1. *Ящерицын П.И.* Теория резания: учебник / П.И. Ящерицын, Е.Э. Фельдштейн, М.А. Корниевич. – 2-е издание, исправлено и дополнено – Мн.: Новое знание, 2006. – 512 с. 2. *Мазур М.П.* Основи теорії різання матеріалів: підручник [для вищ. навч. закладів] / М.П. Мазур, Ю.М. Внуков, В.Л. Доброскок, В.О. Залого, Ю.К. Новоселов, Ф.Я. Якубов; під заг. ред. М.П. Мазур. – Львів: Новий Світ – 2000, 2010. – 422 с. 3. *Старков В.К.* Обработка резанием. Управление стабильностью и качеством в автоматизированном производстве / В.К. Старков – М.: Машиностроение, 1989. – 297 с. 4. *Родин П.Р.* Монолитные твердосплавные концевые фрезы / Родин П.Р., Равская Н.С., Касьянов А.И., – Киев: Вища школа. Изд-во при Киев. ун-те, 1985. – 64 с. 5. *Васин С.А., Верещак А.С., Кушнер В.С.* Резание материалов: Термомеханический подход к системе взаимосвязей при резании. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. – 448 с. 6. *Розенберг Ю.А.* Резание материалов: учебник для технических вузов / Ю.А. Розенберг. – Курган: ОАО «Полиграфический комбинат», Зауралье, 2007. – 294 с. 7. *Якубов Ф.Я.* Структурно-энергетические аспекты упрочнения и повышения стойкости режущего инструмента / Ф.Я. Якубов, В.А. Ким. – Симферополь, 2005. – 300 с. 8. *Якубов Ч.Ф.* Упрочняющее действие СОТС при обработке металлов резанием. – Симферополь: ОАО «Симферопольская городская типография» (СГТ), 2008. – 156 с. 9. *Якубов Ч.Ф.* Моделирование стойкости фрезы из Р6М5 при измерении условий её предварительной приработки и дальнейшей эксплуатации при фрезеровании стали 12Х18Н10Г / Якубов Ч.Ф., Ваниев Э.Р. // Оптимізація виробничих процесів і технічний контроль у машинобудуванні та приладобудуванні: Збірник наукових праць «Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Вип. №746 – Львов: Національний університет «Львівська політехніка», 2012. – С. 207 – 210. 10. *Бесарабев Ю.И.* О возможности использования в качестве оценки трибологических свойств СОТС коэффициента трения пары инструментальный-обрабатываемый материалы / Бесарабев Ю.И., Ваниев Э.Р., Скринник П.В. // Резание и инструмент в технологических системах: Междунар. науч.-техн. сб. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2012. – Вып. 82. – С. 10-17.

Поступила в редколлегию 02.07.2013